



Docket No.: M&N-IT-474

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to: Commissioner for Patents, Alexandria, VA 22313 20231.

By:  Date: October 1, 2003

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applic. No. : 10/642,544
Applicant : Hans-Ludwig Althaus et al.
Filed : August 15, 2003
Art Unit : to be assigned
Examiner : to be assigned

Docket No. : M&N-IT-474
Customer No.: 24131

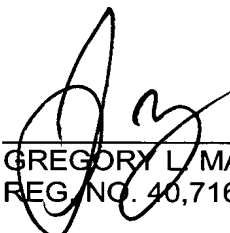
CLAIM FOR PRIORITY

Hon. Commissioner for Patents,
Alexandria, VA 22313-1450
Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 102 37 695.6 filed August 15, 2002.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,



GREGORY L. MAYBACK
REG. NO. 40,716

Date: October 1, 2003

Lerner and Greenberg, P.A.
Post Office Box 2480
Hollywood, FL 33022-2480
Tel: (954) 925-1100
Fax: (954) 925-1101

/mjb

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 37 695.6

Anmeldetag: 15. August 2002

Anmelder/Inhaber: Infineon Technologies AG, München/DE

Bezeichnung: Lasermodul für optische Übertragungssysteme und
Verfahren zum Stabilisieren einer Ausgangswellen-
länge eines Lasermoduls

IPC: H 01 S, H 04 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 12. August 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Tortus

Beschreibung

Bezeichnung der Erfindung: Lasermodule für optische Übertragungssysteme und Verfahren zum Stabilisieren einer Ausgangswellenlänge eines Lasermoduls.

Die Erfindung betrifft ein Lasermodule für optische Übertragungssysteme gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Stabilisieren einer Ausgangswellenlänge eines Lasermoduls gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 18. Entsprechende Lasermodule eignen sich insbesondere für einen Einsatz in WDM- (Wavelength Division Multiplex), DWDM- und CWDM (Dense und Coarse Wavelength Division Multiplex) Systemen.

Es sind Laserdioden mit einer sogenannten verteilten Rückkopplung bekannt, die aufgrund einer frequenzselektiven Rückkopplung anders als Laserdioden mit einem Fabry-Perot-Resonator nicht vielmäßig, sondern einmässig emittieren. Insbesondere sind in diesem Zusammenhang DBR- (distributed Bragg reflector) Laser bekannt, bei denen außerhalb des üblichen schwingungsaktiven Gebietes ein Bragg-Reflektor angeordnet ist. Dabei handelt es sich um eine Struktur mit einer periodischen Störung, dem Bragg-Interferenzgitter, die eine elektromagnetische Welle frequenzselektiv reflektiert, vgl. Reinhold Paul: Optoelektronische Halbleiterbauelemente, Stuttgart 1992, S. 203-204.

Aus J.M. Hammer et al.: „Single-Wavelength operation of the hybrid-external Bragg-reflector-waveguide laser under dynamic conditions“, Applied Physics Letters, Vol. 47 Nr. 3, August 1985, Seiten 183-185, ist es bekannt, den Bragg-Reflektor in einen Glaswellenleiter einzuschreiben, der optisch an einen Halbleiterlaser angekoppelt ist, so dass ein externer Resonator entsteht. Es wird ein Halbleiterlaser mit frequenzselektiver Rückkopplung gebildet. In vorteilhafter Weise ist es dabei möglich, die spezifische Wellenlänge des

Lichts in gewissen Grenzen unabhängig von der verwendeten aktiven Laserquelle durch das passive Faser-Bragg-Gitter bzw. dessen Gitterkonstante festzulegen. So unterstützt das Faser-Bragg-Gitter aufgrund der frequenzselektiven Reflektion nur
5 einen engen Laserwellenlängenbereich.

Ein Faser-Bragg-Gitter besteht aus einer Gitterstruktur in einem Lichtwellenleiter, welche durch eine periodische Modulation der Brechzahl im Faserkern herbeigeführt wird. Ein
10 Einschreiben des Gitters in eine Lichtfaser erfolgt zum Beispiel durch eine punktuelle Belichtung der Faser mit ultravioletter Strahlung oder durch Verwendung einer Phasenmaske, die in der Lichtfaser ein Interferenzstreifenmuster erzeugt. Gängige Verfahren zur
15 Erzeugung eines Faser-Bragg-Gitters sind in K.O. Hill et al.: "Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview", Journal of Lightwave Technology, Vol. 15, No. 8, August 1997, Seiten 1263-1276 beschrieben.

20 Lasermodule für optische Übertragungssysteme erzeugen optische Signale einer oder mehrerer Wellenlängen, die bei Kanalpositionen, die den Empfehlungen der International Telecommunications Union (ITU) entsprechen, jeweils einen Informationskanal bilden. Die ITU Empfehlungen für WDM-,
25 DWDM- und CWDM-Systeme legen dabei sowohl die absolute Lage der Wellenlängen als auch die Wellenlängenraster (Kanalabstände) fest. Es ist daher erforderlich, Änderungen in der Wellenlänge (und bevorzugt auch in der Ausgangsleistung) der eingesetzten Lasermodule mit hoher
30 Genauigkeit zu vermeiden.

Bei Lasermodulen mit externem Resonator unter Verwendung eines Faser-Bragg-Gitters wird der emittierte Wellenlängenbereich des Halbleiterlasers durch das Faser-Bragg-Gitter eingeengt. Die emittierte Wellenlänge des
35 Lasermoduls darf sich jedoch im Laufe der Lebenszeit des Moduls nicht verändern. Auch muss die Temperatur des

Halbleiterlasers gegenüber Änderungen der Umgebungstemperatur konstant gehalten werden, da eine Änderung der Lasertemperatur aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex des aktiven Materials eines Halbleiterlasers zu einer veränderten Wellenlänge führt. Eine Stabilisierung lediglich der Temperatur des Lasers, wie sie an sich bekannt ist, kann jedoch keine altersbedingten Änderungen der Lasereigenschaften berücksichtigen und ist daher nicht ausreichend zur Erfüllung der strengen Kriterien der ITU hinsichtlich der absoluten Lage der Kanäle.

Der vorliegenden Erfindung liegt dementsprechend die Aufgabe zu Grunde, ein Lasermodule der eingangs genannten Art und ein Verfahren zum Stabilisieren der Ausgangswellenlänge eines Lasermoduls zur Verfügung zu stellen, die die Wellenlänge des Halbleiterlasers unabhängig von Alter und Umgebungstemperatur mit hoher Genauigkeit auf eine gewünschte Wellenlänge, insbesondere die Zentralwellenlänge eines Faser-Bragg-Gitters einstellen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Lasermodule mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Stabilisieren der Ausgangswellenlänge eines Lasermoduls mit den Merkmalen des Anspruch 18 gelöst. Bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Danach zeichnet sich das erfindungsgemäße Lasermodule durch Mittel zum Stabilisieren einer Ausgangswellenlänge des Lasermoduls aus, die eine Messvorrichtung zur Messung der Photonendichte innerhalb des Resonators, eine Einstellvorrichtung zur Einstellung bzw. Änderung der effektiven optischen Weglänge des Resonators und eine Steuervorrichtung umfassen, wobei letztere auf der Grundlage eines Vergleichs zwischen verschiedenen Werten der Photonendichte bei verschiedenen effektiven optischen Weglängen des Resonators Steuerbefehle an die

Einstellvorrichtung zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators dahingehend erzeugt, dass die emittierte Ausgangswellenlänge gleich einer gewünschten Wellenlänge ist.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren des nebengeordneten Anspruchs 18 zeichnet sich dadurch aus, dass die Photonendichte innerhalb des Resonators zunächst bei einer ersten effektiven optischen Weglänge des Resonators gemessen wird, die effektive optische Weglänge des Resonators daraufhin geändert und die Photonendichte innerhalb des Resonators bei der geänderten effektiven optischen Weglänge des Resonators erneut gemessen wird. Die gemessenen Photonendichten werden daraufhin verglichen, insbesondere voneinander subtrahiert, und auf der Grundlage des erfolgten Vergleichs wird anschließend die effektive optische Weglänge des Resonators eingestellt, wobei in Abhängigkeit von dem erfolgten Vergleich die effektive optische Weglänge entweder verlängert oder verkürzt wird. Die genannten Schritte werden solange wiederholt, bis die emittierte Ausgangswellenlänge gleich einer gewünschten Wellenlänge ist. Bei der gewünschten Wellenlänge handelt es sich bevorzugt um die Zentralwellenlänge des Bragg-Gitters oder eine Wellenlänge nahe der Zentralwellenlänge, so dass die Wellenlänge innerhalb der jeweiligen spezifischen Kanalbreite liegt und den jeweiligen spezifischen Kanalabstand einhält.

Der vorliegenden Erfindung liegt somit der Gedanke zugrunde, die Ausgangswellenlänge eines Lasers durch eine iterative Messung der Photonendichte und eine auf der Grundlage aufeinanderfolgender Messungen erfolgende Anpassung der effektiven optischen Weglänge des optischen Resonators einzustellen und zu stabilisieren. Es erfolgt auf diese Weise eine aktive Regelung auf eine gewünschte Wellenlänge, bevorzugt die Zentralwellenlänge des Bragg-Gitters. Durch die Stabilisierung der Wellenlänge werden zudem Modensprünge des

Lasers verhindert und ein stabiler Betrieb des Lasers gewährleistet.

Die erfindungsgemäße Stabilisierung der Ausgangswellenlänge
5 kompensiert sowohl Änderungen der Lasereigenschaften, die mit
einer Alterung der Laserdiode zusammenhängen als auch solche,
die auf eine Änderung der Umgebungstemperatur oder andere
Einflüsse (z.B. mechanische Spannungen) zurückzuführen sind.
Die Erfindung macht sich dabei die Erkenntnis zu Nutze, dass
10 die Photonendichte eines Halbleiterlasers (beispielsweise
gemessen über den Strom einer Monitordiode), aufgetragen in
Abhängigkeit von der Ausgangswellenlänge des
Halbleiterlasers, bei der Zentralwellenlänge des Bragg-Gitter
ein Maximum aufweist. Außerhalb des Maximums ist die
15 Differenz der Photonendichten bei zwei unterschiedlichen
effektiven optischen Weglängen des Resonators (und damit
unterschiedlichen Ausgangswellenlängen) ungleich Null, wobei
aus dem Vorzeichen des Differenzwertes geschlossen werden
kann, auf welcher Seite des Maximums die aktuelle
20 Ausgangswellenlänge sich gerade befindet.

Bei bekannter Abhängigkeit der Photonendichte eines
Halbleiterlasers von der Ausgangswellenlänge kann eine
Regelung jedoch grundsätzlich auch auf einen anderen Wert als
25 die Zentralwellenlänge des Bragg-Gitters erfolgen.

Es wird darauf hingewiesen, dass der Begriff „Photonendichte“
jeweils identisch mit dem Begriff „Lichtintensität“ ist.
Eine „Messung der Photonendichte“ bedeutet, dass ein Wert
30 gemessen wird, dessen Größe von der Photonendichte im
Resonator abhängt. Es fallen somit auch Messungen hierunter,
die nicht unmittelbar die Photonendichte ergeben, sondern aus
denen sich lediglich indirekt auf die Photonendichte
schließen lässt.

35

Weiter wird zu den verwendeten Begrifflichkeiten darauf
hingewiesen, dass die effektive optische Weglänge des

Resonators definiert ist als der geometrische Abstand zwischen den beiden Reflektoren des optischen Resonators multipliziert mit der Brechzahl n des Materials im jeweiligen Resonatorabschnitt. Eine Änderung der effektiven optischen Weglänge des Resonators führt dazu, dass die Resonanzbedingung bei anderen Wellenlängen stattfindet, so dass die Laserlinie des ausgekoppelten Lichtes sich verschiebt.

Allgemein ist in diesem Zusammenhang zu bemerken, dass für eine bestimmte effektive optische Weglänge des Resonators für eine Vielzahl von diskreten Wellenlänge stehende Wellen innerhalb des Resonators gebildet werden, die die einzelnen axialen Moden des Resonators darstellen. Aufgrund der frequenzselektiven Rückkopplung durch das Bragg-Gitter wird jedoch nur eine dieser Moden verstärkt. Auch das Bragg-Gitter besitzt jedoch eine gewisse spektrale Ausdehnung, wobei sich die Laserlinie innerhalb des entsprechenden Bereiches bewegen kann. Durch eine Änderung der effektiven optischen Weglänge des Resonators kann die Laserlinie an einen gewünschten Punkt in der spektralen Breite des Bragg-Gitters geschoben werden. Dabei ist es sinnvoll, die Laserlinie des ausgekoppelten Lichtes auf die Zentralwellenlänge des Bragg-Gitters zu legen, da bei dieser Wellenlänge die Güte des Lasers am größten ist. Darüberhinaus ist dieser Wert einer Regelung besonders zugänglich, da bei der Zentralwellenlänge die Photonendichte im optischen Resonator ein Maximum erreicht.

Das Bragg-Gitter kann grundsätzlich in einen beliebigen Lichtwellenleiter eingeschrieben sein, beispielsweise auch in eine planare Wellenleiterstruktur. Bevorzugt handelt es sich bei dem Wellenleiter, in den das Bragg-Gitter eingeschrieben ist, um eine Glasfaser, insbesondere eines Singlemode-Glasfaser. Für diesen Fall wird das Bragg-Gitter als Faser-Bragg-Gitter bezeichnet. Die Glasfaser wird bevorzugt über einen Glasfaserstecker mit einem Gehäuse verbunden, in dem die Laserdiode angeordnet ist.

Die Vorrichtung zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators dient, wie erläutert, der spektralen Verschiebung der Laserlinie des ausgekoppelten Lichtes zu einer gewünschten Wellenlänge. Die Einstellvorrichtung kann auf mehrere Arten ausgebildet sein.

In einer ersten bevorzugten Ausgestaltung umfasst die Einstellvorrichtung Mittel zur Längsverschiebung des Lichtwellenleiters mit dem eingeschriebenen Bragg-Gitter. Da das Bragg-Gitter die eine Spiegelfläche des Resonators darstellt, erfolgt eine Einstellung der effektiven optischen Weglänge bei dieser Ausführungsvariante über die Einstellung des geometrischen Abstandes zwischen den beiden Spiegelflächen. Hierbei ist wichtig, dass das Licht der Laserdiode über einen Freistrahlbereich mit geeigneter Koppeloptik in die Faser gekoppelt wird.

In einer zweiten bevorzugten Ausgestaltung weist die Einstellvorrichtung Mittel zum Heizen oder Kühlen der Laserdiode auf. In einer dritten bevorzugten Ausgestaltung wird die Laserdiode indirekt durch Änderungen des Betriebsstromes der Laserdiode geheizt. Bei den beiden letztgenannten Ausführungsvarianten erfolgt eine Einstellung bzw. Anpassung der effektiven optischen Wellenlänge durch eine entsprechende Änderung des temperaturabhängigen Brechungsindex des Halbleiterkristalls der Laserdiode. Die vorgenannten Ausgestaltungen der Einstellvorrichtung zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators sind nur beispielhaft zu verstehen. Grundsätzlich kann eine Verschiebung der Phase des Lichts im Resonator bzw. eine Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators auch auf andere Art erfolgen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung weist die Messvorrichtung eine Monitordiode auf, die benachbart der hochreflektierenden Spiegelfläche des optischen Resonators angeordnet ist. Das

durch die hochreflektierende Spiegelfläche bzw. Facette des optischen Resonators entweichende Licht wird dabei auf die Monitordiode geleitet. Damit kann die in dem Laser existierende Photonendichte gemessen werden.

5

Alternativ kann die Photonendichte auch über die an der Laserdiode anliegende Spannung bei konstantem Laserbetriebsstrom gemessen werden. Die Spannung einer Laserdiode wird in erster Linie durch die Bandkante des Halbleiterlasers, den Eigenwiderstand des Halbleitermaterials und im Laserbetrieb auch die Photonendichte beeinflusst. So wird die stimulierte Emission des Laserbetriebes durch Photonen in dem Halbleiterchip begünstigt. Bei höherer Lichtintensität und gleicher Spannung können mehr Elektronen den pn-Übergang überwinden. Dadurch verringert sich bei steigender Lichtintensität in dem Resonator der Eigenwiderstand des Halbleiterlasers. Somit kann bei konstantem Laserbetriebsstrom durch die Spannung an dem Halbleiterlaser indirekt auf die Photonendichte in dem Resonator geschlossen werden.

15

20

Die Steuervorrichtung ist bevorzugt Teil einer Regelschleife, die die Ausgangswellenlänge des Lasersmoduls auf eine gewünschte Wellenlänge regelt. Die Photonendichte wird dabei iterativ gemessen und die Steuervorrichtung gibt auf der Grundlage der Differenz zweier aufeinanderfolgender Messungen jeweils einen Steuerbefehl an die Einstellvorrichtung zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators.

25

30

Bei der Laserdiode handelt es sich bevorzugt um einen Fabry-Perot-Halbleiterlaser, dessen eine Facette durch die hochreflektierende Spiegelfläche des optischen Resonators gebildet ist. Die andere, vordere Facette des Fabry-Perot-Halbleiterlasers ist bevorzugt mit einer antireflektierenden Schicht beschichtet, die bevorzugt eine Restreflektion von weniger als 0,1 % aufweist. Dadurch können parasitäre

35

Resonanzen des optischen Resonators unterdrückt werden. Über die vordere Facette wird Licht zum Bragg-Gitter ausgesandt bzw. von diesem empfangen, so dass eine Reflektion an dieser Facette unerwünscht ist.

5

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist das Modul zwischen dem Lichtwellenleiter und der Laserdiode eine Koppeloptik auf. Die Koppeloptik umfaßt bevorzugt eine hochbrechende Koppellinse mit einer Brennweite von vorzugsweise kleiner als einem Millimeter. Bei der Koppellinse handelt es sich insbesondere um eine sphärische oder asphärische Siliziumlinse, GaP-Linse, SiC-Linse oder Linse aus einem anderen geeigneten hochbrechenden optischen Material (organisch oder anorganisch). Auch kann eine besonders kurzbrennweitige Glaslinse, insbesondere Glas-Asphäre oder eine Gradientenindexlinse zum Einsatz kommen.

10

15

20

Bei dem Lichtwellenleiter handelt es sich bevorzugt um eine Single-Mode-Glasfaser. Das Ende der Glasfaser ist dabei bevorzugt antireflektionsbeschichtet oder leicht angeschrägt, um unerwünschte Rückkopplungen an anderen Strukturen als dem Faser-Bragg-Gitter zu vermeiden. Gleiches gilt für die Koppeloptik.

25

30

Das Bragg-Gitter befindet sich bevorzugt in unmittelbarer Nähe der Laserdiode. Mit anderen Worten ist die Länge des optischen Resonators bevorzugt möglichst kurz, so dass die Umlauffrequenz des Lichtes über einer gewünschten Modulationsfrequenz des Moduls liegt. Ansonsten wäre eine Informationsübertragung auf dem durch den Laser bereit gestellten optischen Informationskanal nicht möglich. Insbesondere ist die Länge des optischen Resonators bevorzugt kleiner als 10 Millimeter.

35

Das Bragg-Gitter, das Teil des optischen Resonators ist, besitzt naturgemäß eine gewisse spektrale Ausdehnung, innerhalb derer sich die Laserlinie des ausgestrahlten

Laserlichtes bewegen kann. An den Rändern dieses Bereiches wird der Laser entweder aufhören zu funktionieren oder einen Modensprung machen, das heißt der Laser wird an einer anderen Laserlinie innerhalb der spektralen Breite des Bragg-Gitters
5 anschwingen. Die genaue Position der Wellenlänge wird erfindungsgemäß durch die Einstellvorrichtung auf der Grundlage von Steuerbefehlen der Steuervorrichtung eingestellt.

10 Hinsichtlich der von der Steuervorrichtung an die Einstellvorrichtung abgegebenen Steuerbefehle zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators ist zu bemerken, dass diese derart sein können, dass die effektive optische Weglänge des Resonators stets um einen vorgegeben
15 Wert verlängert oder verkürzt wird. Da eine Einstellung iterativ solange wiederholt wird, bis eine gewünschte Wellenlänge eingestellt ist, wird diese Vorgehensweise früher oder später zur Einstellung der gewünschten Wellenlänge führen.

20

Sofern angestrebt ist, die Anzahl der Iterationen möglichst gering zu halten, kann ein Verlängern oder Verkürzen der optischen Weglänge des Resonators auch um einen Betrag
erfolgen, der von den Ergebnis des Vergleichs der gemessenen
25 Photonendichten abhängt. Sofern die Photonendichten bei zwei unterschiedlichen effektiven optischen Weglängen des Resonators sich beispielsweise um einen großen Betrag unterscheiden, kann ein Verlängern oder Verkürzen der optischen Weglänge ebenfalls um einen großen Betrag erfolgen.
30 Entsprechend wird die optischen Weglänge um nur einen kleinen Betrag verändert, wenn die gemessenen Photonendichte sich nur geringfügig unterscheiden.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die
35 Figuren der Zeichnung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 schematisch den grundsätzlichen Aufbau eines Lasermoduls für optische Übertragungssysteme mit einem Fasergitter-Laser und einer
Ausgangswellenlängenstabilisierung;

5

Figur 2 schematisch den grundsätzlichen Aufbau eines Faser-Gitter-Lasers;

Figur 3 schematisch zwei Messvorrichtungen zur Messung der Photonendichte innerhalb des Resonators eines Fasergitter-Lasers;

10

Figur 4 schematisch eine erste Ausgestaltung einer Einstellvorrichtung zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators eines Fasergitter-Lasers, wobei die Einstellvorrichtung ein Heiz- oder Kühlelement aufweist;

15

Figur 5 schematisch eine zweite Ausgestaltung einer Einstellvorrichtung zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators eines Fasergitter-Lasers, wobei die Einstellvorrichtung Mittel zur aktiven Regelung des Betriebsstroms des Faser-Gitter-Lasers umfasst;

20

25

Figur 6 schematisch eine dritte Ausgestaltung einer Einstellvorrichtung zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators eines Fasergitter-Lasers, wobei die Einstellvorrichtung Mittel zum Verschieben eines Faserendes umfasst;

30

Figur 7 den Reflexionskoeffizienten eines Faser-Bragg-Gitters in Abhängigkeit von der Wellenlänge;

Figur 8 den Monitordiodenstrom einer einem Fasergitter-Laser zugeordneten Monitordiode in Abhängigkeit von der Wellenlänge;

35

Figur 9 die Leistung der in einen Lichtwellenleiter eingekoppelten Lichtleistung eines Fasergitter-Lasers in Abhängigkeit von der Wellenlänge;

5

Figur 10 die an der Laserdiode eines Fasergitter-Lasers anliegende Spannung bei konstantem Laserbetriebsstrom in Abhängigkeit von der Wellenlänge;

10

Figur 11 die Wellenlängen/Betriebsstromkennlinie eines Fasergitter-Lasers ohne aktive Wellenlängenstabilisierung;

15 Figur 12 die Wellenlängen/Betriebsstromkennlinie eines Fasergitter-Lasers bei aktiver Wellenlängenstabilisierung;

20 Figur 13 die Ausgangswellenlänge eines Fasergitter-Lasers in Abhängigkeit von der Temperatur des Lasers ohne das Vorliegen einer Wellenlängenstabilisierung und

25 Figur 14 die Ausgangswellenlänge eines Fasergitter-Lasers in Abhängigkeit von der Temperatur bei Vorliegen einer Wellenlängenstabilisierung.

Die Figur 1 zeigt ein Lasermodul für optische Übertragungssysteme mit einer Anordnung zum Stabilisieren der Ausgangswellenlänge des Lasermoduls auf eine gewünschte Wellenlänge.

Das Lasermodul besitzt einen Halbleiterlaser 1, der zusammen mit einem in eine Glasfaser 4 eingeschriebenen Faser-Bragg-Gitter 5 einen optischen Resonator ausbildet. Ein Kopplungselement (Koppelloptik) 8, das der Anpassung des von dem Halbleiterlaser 1 ausgestrahlten Lichtes an die Apertur

der Glasfaser 4 dient, ist dabei zwischen dem Halbleiterlaser 1 und der Glasfaser 4 angeordnet.

5 Dem Halbleiterlaser 1 ist eine Messvorrichtung 2 zur Messung der Photonendichte innerhalb des optischen Resonators zugeordnet. Des Weiteren sind eine Steuervorrichtung 6 und eine Einstellvorrichtung 7 vorgesehen, die zusammen mit der Messvorrichtung 2 einen Regelkreis bilden.

10 Die Messvorrichtung 2 dient der Messung der Photonendichte innerhalb des optischen Resonators, der durch den Halbleiterlaser 1 und das Faser-Bragg-Gitter 5 bereitgestellt wird. Die Messung der Photonendichte kann auf verschiedene Arten erfolgen, wie nachfolgend noch erläutert werden wird.

15 Die Einstellvorrichtung 7 dient der Einstellung der effektiven optischen Weglänge Δ_{eff} des optischen Resonators. Über die effektive optische Weglänge des Resonators wird dabei die Laserwellenlänge eingestellt, die durch den optischen Resonator bereitgestellt wird. Die Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators kann ebenfalls auf verschiedene Arten erfolgen, wie nachfolgend noch erläutert werden wird.

25 Die Steuervorrichtung 6 erzeugt Steuerbefehle an die Einstellvorrichtung 7 derart, dass die effektive optische Weglänge Δ_{eff} des optischen Resonators dahingehend eingestellt wird, dass die emittierte Ausgangswellenlänge des Halbleiterlasers 1 gleich einer gewünschten Wellenlänge ist.

30 Zielgröße der Regelung ist somit die effektive optische Weglänge Δ_{eff} des optischen Resonators, die wiederum die Wellenlänge des aus dem Halbleiterlaser 1 ausgekoppelten Laserlichtes bestimmt. Regelgröße ist die Differenz oder ein
35 anderer Vergleich zwischen verschiedenen Werten der Photonendichte bei unterschiedlichen effektiven optischen Weglängen des Resonators.

So wird zunächst die Photonendichte $I(n)$ bei einer ersten effektiven optischen Weglänge $\Delta_{\text{eff}}(n)$ gemessen. Daraufhin gibt die Steuervorrichtung 6 ein Steuersignal an die
5 Einstellvorrichtung 7 zur Änderung der effektiven optischen Weglänge des Resonators ab. Es wird daraufhin erneut die Photonendichte $I(n+1)$ innerhalb des Resonators bei der geänderten optischen Weglänge $\Delta_{\text{eff}}(n+1)$ gemessen. Die gemessenen Photonendichten $I(n)$ und $I(n+1)$ werden miteinander
10 verglichen, insbesondere voneinander subtrahiert und in Abhängigkeit von dem erfolgten Vergleich ein Steuerbefehl an die Einstellvorrichtung 7 gegeben, die effektive optische Weglänge des Resonators entweder zu verlängern oder zu verkürzen. Anschließend wird erneut die Photonendichte
15 gemessen und mit dem vorherigen Wert der Photonendichte verglichen. Dieser iterative Vorgang wird solange durchgeführt, bis die emittierte Ausgangswellenlänge des Halbleiterlasers 1 gleich einer gewünschten Wellenlänge ist, insbesondere gleich der Zentralwellenlänge des Faser-Bragg-Gitters 5.
20

Hierzu ist bevorzugt vorgesehen, dass die Regelgröße, d.h. die Differenz der Werte der Photonendichte bei zwei
25 aufeinander folgenden effektiven optischen Weglängen des optischen Resonators auf Null geregelt wird bzw. einen kleinen Wert kleiner ϵ . Sofern die Differenz auf Null geregelt ist, liegt ein Maximum der Photonendichte im optischen Resonator vor.

30 Wie nachfolgend noch erläutert werden wird, liegt ein Maximum der Photonendichte jedoch gerade bei der Zentralwellenlänge des Bragg-Gitters 5 des optischen Resonators vor. Die Regelung dahingehend, dass die Photonendichte in dem Halbleiterlaser 1 maximal ist, führt somit automatisch zu
35 einer Einstellung der Ausgangswellenlänge des Halbleiterlasers 1 auf die Zentralwellenlänge des Bragg-Gitters. Diese ist bevorzugt derart gewählt, dass sie gleich

der Wellenlänge eines Wellenlängenkanals eines WDM-, DWDM- oder CWDM-Systems entsprechend den Empfehlungen der ITU ist.

- Das beschriebene Lasermodule ermöglicht somit eine Regelung bzw. Einstellung der Ausgangswellenlänge des Lasermodule auf eine gewünschte Wellenlänge. Durch fortlaufende Regelung bzw. einen Regelungszyklus in vorgegebenen Zeitintervallen ist es dabei möglich, die Laserwellenlänge fortlaufend zu kalibrieren und dabei insbesondere auch Schwankungen zu berücksichtigen und auszugleichen, die sich aus dem Alter des Halbleiterlasers ergeben. Die beschriebene Regelung kompensiert dabei sämtliche Einflüsse auf die Ausgangswellenlänge des Lasers.
- Es wird darauf hingewiesen, dass die Positionen der einzelnen Messpunkte vorzugsweise so eng beieinander liegen, dass die aus diesem resultierende Differenz der spektralen Position der Laserlinie wesentlich kleiner ist als der vom Faser-Bragg-Gitter 5 stabilisierte Bereich. Aus dem Vorzeichen der gebildeten Differenz kann geschlossen werden, ob die optische Weglänge in dem Resonator verkürzt oder verlängert werden muss, um die Laserlinie spektral auf die Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} des Faser-Bragg-Gitters 5 zu schieben.
- Gemäß der Differenz der Photonendichten bzw. Intensitätswerte wird die effektive optische Resonatorlänge derart verschoben, dass die Laserlinie spektral der Zentralwellenlänge des Faser-Bragg-Gitters 5 näher kommt. Wahlweise kann die Größe der Verschiebung dabei derart gewählt werden, dass sich die Laserlinie nach Änderung der effektiven optischen Weglänge soweit wie möglich der Zentralwellenlänge des Faser-Bragg-Gitters nähert. Die Verstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators kann somit wahlweise um einen Wert erfolgen, der von der gemessenen Differenz der Photonendichten abhängig ist.

Die beschriebene Regelung muss nicht notwendigerweise auf die Zentralwellenlänge des Faser-Bragg-Gitters 5, sondern kann auch auf einen davon abweichenden Wert erfolgen. Die Figur 7 zeigt den Reflexionskoeffizienten eines Faser-Bragg-Gitters in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Das Faser-Bragg-Gitter 5 weist eine Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} auf. Gleichzeitig besitzt es eine gewisse spektrale Breite $\Delta\lambda$, innerhalb derer ein einmodiger Laserbetrieb möglich ist. Die aktuelle Laserlinie λ_{OUT} wird durch die effektive optische Weglänge Δ_{eff} des optischen Resonators festgelegt und kann durch die Einstellvorrichtung 7 innerhalb der spektralen Breite $\Delta\lambda$ verschoben.

Wie erläutert, wird die ausgekoppelte Wellenlänge dabei bevorzugt auf die Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} verschoben. Grundsätzlich kann die Wellenlänge jedoch auch auf einen anderen Wert innerhalb des spektralen Fensters $\Delta\lambda$ verschoben werden, beispielsweise, wenn die Zentralwellenlänge aufgrund von Fertigungstoleranzen nicht der Wellenlänge eines gewünschten Kanals entsprechend den ITU-Empfehlungen für WDM- oder DWDM-Kanäle entspricht. Hierzu erfolgt eine Regelung in dem Regelkreis der Figur 1 beispielsweise dahingehend, dass die Differenz zweier aufeinander folgender Photonendichten auf einen bestimmten Wert geregelt wird.

Die schraffiert dargestellten Bereiche in Figur 7 stellen die nicht genutzten Bereiche des Lasers dar. Sofern die ausgekoppelte Wellenlänge diesen Bereich erreicht, wird der Laser entweder aufhören zu funktionieren oder einen Modensprung machen, d.h., an einer anderen Laserlinie innerhalb des Bereiches $\Delta\lambda$ anschwingen.

Da der Halbleiterlaser 1 einen optischen Resonator mit einer externen Spiegelfläche (dem Faser-Bragg-Gitter 5) in einer Lichtleitfaser aufweist, wird er auch als Fasergitter-Laser bezeichnet.

Ein typischer Fasergitter-Laser ist in Figur 2 näher dargestellt. Neben den bereits in Figur 1 genannten Komponenten sind die Laserdiode 101, eine hochreflektierende Schicht 102 an der rückseitigen Facette und eine

5 Antireflexschicht 103 an der vorderen Facette des Halbleiterlasers 1 sowie eine Monitordiode 21 dargestellt. Die hochverspiegelte Facette 102 des Lasers und das Faser-Bragg-Gitter 5 bilden den optischen Resonator des Lasers. Die Antireflexschicht 103 weist eine Restreflexion von bevorzugt
10 weniger als 0,1 % auf und dient der Unterdrückung parasitärer Restreflexionen des Halbleiterkristalls.

Die als hochbrechende Linse ausgebildete Koppereinheit 8 dient der Anpassung der Apertur des Halbleiterchips 1 und der
15 Glasfaser 4. Über die Koppereinheit 8 wird das Licht von der antireflexbeschichteten Seite aus in die Glasfaser 4 eingeleitet. Das Ende der Glasfaser 4 ist und die Linsenoberflächen sind dabei bevorzugt entweder ebenfalls antireflexbeschichtet oder leicht angeschrägt, um Reflexionen
20 vom Faserende zu verhindern (nicht dargestellt). Das Bragg-Gitter 5 ist wie dargestellt in unmittelbarer Nähe der Laserdiode 1 angeordnet. Damit wird die Umlaufzeit des Lichtes in dem Lasersystem klein und die Lichtintensität in dem Laser kann schnell Änderungen des Stromes innerhalb der
25 Laserdiode folgen.

Ein geringer Teil des Laserlichtes wird durch die hochreflektierende Schicht 102 ausgekoppelt und von der Monitor 21 detektiert. Da die hochreflektierende Schicht 102
30 des Halbleiterlasers bei allen vom Laser verwendeten Wellenlängen das Licht gleichstark passieren lässt, ermittelt die angekoppelte Monitordiode 21 unmittelbar die Lichtintensität innerhalb des optischen Resonators.

35 Wahlweise kann bei konstantem Strom durch den Halbleiterchip die Photonendichte in dem Resonator auch mittels der in dem

Halbleiterchip anliegenden Spannung gemessen werden, worauf noch eingegangen werden wird.

Weiter wird darauf hingewiesen, dass auch die vordere Facette 103 des Lasers 1 mit einem leichten Kippwinkel zur Laserachse versehen sein kann, um parasitäre Rückreflexionen zu verhindern. Als weitere Option kann die Lichtleitung in dem Halbleiterlaser leicht gebogen sein, ebenfalls um Reflexionen zu minimieren.

Der Halbleiterlaser ist bevorzugt in einem TO-Gehäuse (TO = Transistor Outline) oder einem SMT-Gehäuse (SMT = Surface Mount Technology) angeordnet, an das die Lichtleitfaser 4 mit dem Faser-Bragg-Gitter 5 über einen Faserstecker angesteckt wird.

Die Figur 3 zeigt schematisch zwei Möglichkeiten zur Messung der Photonendichte im optischen Resonator. Eine Möglichkeit besteht, wie in Bezug auf die Figur 2 bereits erläutert, in der Bereitstellung einer Monitordiode 21. Die andere Möglichkeit besteht in der Messung der an der Laserdiode 1 anliegenden Spannung bei konstantem Laserbetriebsstrom. Dies ist durch einen schematisch dargestellten Abgriff 22 zur Messung der an der Laserdiode 1 anliegenden Spannung dargestellt.

Figur 8 zeigt die Abhängigkeit des Stroms durch die Monitordiode 21 in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Dabei ist zu erkennen, dass der Monitordiodenstrom bei der Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} ein Maximum besitzt. Dies ist unmittelbar einleuchtend, da gemäß Figur 7 der Reflexionsgrad des Faser-Bragg-Gitters bei der Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} am größten ist. Von der effektiven Reflexion des Faser-Bragg-Gitters hängt jedoch die Güte des Lasers ab, d.h., je näher die Laserlinie sich spektral der Zentralwellenlänge des Faser-Bragg-Gitters nähert, desto höher ist die Photonendichte innerhalb des Resonators. Dementsprechend wird

bei der Zentralwellenlänge aus der hochreflektierenden Schicht 102 (vgl. Figur 2) am meisten Lichtenergie ausgekoppelt.

- 5 In der in Figur 1 erläuterten Regelungsschleife kann somit die Photonendichte über den Monitordiodenstrom ermittelt werden. Die Messvorrichtung 2 ist in diesem Fall die Monitordiode 21 und der Ausgang der Monitordiode 21 wird der Steuereinrichtung 6 zugeführt.

10

- Die Figur 10 zeigt die Spannung an der Laserdiode in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Aus Figur 10 ergibt sich dabei, dass bei der Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} die Spannung ein Minimum aufweist. Dies hängt damit zusammen, dass bei der Zentralwellenlänge sich am meisten Photonen innerhalb des optischen Resonators befinden. Hierdurch wird eine weitere stimulierte Emission begünstigt. Es können bei höherer Lichtintensität und gleicher Spannung somit mehr Elektronen den pn-Übergang der Laserdiode überwinden. Hierdurch verringert sich bei steigender Lichtintensität in dem Resonator der Eigenwiderstand des Halbleiterlasers. Somit kann bei konstantem Laserbetrieb durch die Spannung an dem Halbleiterlaser indirekt auf die Photonendichte in dem Resonator geschlossen werden.

25

- Bei Messung der Laserdiodenspannung stellt die entsprechende Messvorrichtung 22 die Messvorrichtung 2 des Regelkreises der Figur 1 dar. Der gemessene Spannungswert wird der Steuervorrichtung 6 zugeführt. Die Regelgröße (hier: Differenz zweier Spannungen bei unterschiedlichen effektiven optischen Weglängen des Resonators) wird dabei auf ein Minimum geregelt.

- Eine weitere Möglichkeit zur Messung der Photonendichte im optischen Resonator ergibt sich aus dem in Figur 9 dargestellten Zusammenhang. Figur 9 zeigt die in den Lichtwellenleiter 4 eingekoppelte Lichtleistung in

Abhängigkeit von der Wellenlänge. Zur Erläuterung des dargestellten Kurvenverlaufes wird darauf hingewiesen, dass, wie oben ausgeführt, die Photonendichte innerhalb des Resonators bei der Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} maximal ist. Das

5 Licht muss jedoch auch das Faser-Bragg-Gitter 5 passieren, um in die Faser 4 zu gelangen. Je mehr die Laserlinie sich an der Zentralwellenlänge des Faser-Bragg-Gitters 5 befindet, desto geringer wird die Transmission des Auskoppelspiegels und desto weniger Licht kann ausgekoppelt werden. Diese

10 beiden Effekte sind gegenläufig und geben ein Leistungsspektrum, welches gegen die Wellenlänge aufgetragen entsprechend Figur 9 ein Maximum und ein Minimum aufweist. Das Minimum liegt dabei bei der Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} .

15 Sofern die in die Lichtleitfaser 4 angekoppelte Leistung überwacht wird, beispielsweise über einen nicht dargestellten optischen Verzweiger und eine zugeordnete Monitordiode, so würde eine solche Monitordiode die Messvorrichtung 2 der Figur 1 darstellen und würde das Monitordiodensignal der

20 Steuervorrichtung 6 zugeführt. Eine Regelung würde dabei dahingehend erfolgen, dass die Regelgröße (hier: Differenz des Monitorstroms an der entsprechenden Monitordiode) auf Null geregelt wird, wobei zusätzlich die Bedingung vorliegen muss, dass ein Minimum des Monitorstromes vorliegt.

25 Anhand der Figuren 2 und 3 sowie 8 bis 10 wurde erläutert, dass die Photonendichte in dem optischen Resonator auf verschiedene Weise gemessen werden kann.

30 Die nun folgende Beschreibung der Figuren 4 bis 6 betrifft verschiedene Ausgestaltungen der Einstellvorrichtung zur Einstellung der effektiven optischen Wellenlänge des optischen Resonators.

35 Gemäß Figur 4 ist die Einstellvorrichtung als Heiz- oder Kühlelement 71 ausgebildet. Die Vorrichtung 71 wird dabei entsprechend den Steuerbefehlen der Steuervorrichtung 6 der

Figur 1 geheizt bzw. gekühlt. Die Heizvorrichtung 71 regelt die Temperatur der Halbleiterdiode 1. Da der Brechungsindex des aktiven Materials der Halbleiterdiode 1 temperaturabhängig ist, erfolgt über eine Temperaturänderung auch eine Änderung der effektiven optischen Weglänge des Resonators.

In dem Ausführungsbeispiel der Figur 5 erfolgt eine Einstellung der effektiven optischen Weglänge des optischen Resonators durch Änderung des Betriebsstromes I durch die Halbleiterdiode, die indirekt zu einem Heizen bzw. Kühlen des Halbleiterkristalls und damit wiederum zu einer Änderung der effektiven optischen Weglänge führt. Figur 5 zeigt einen Leistungsregler 72, der den Betriebsstrom I für die Laserdiode 1 bereitstellt. Ein solcher Leistungsregler ist notwendigerweise stets vorhanden und in den vorherigen Figuren lediglich zur besseren Übersicht nicht dargestellt. Der Leistungsregler 72 erhält von der Steuervorrichtung 6 der Figur 1 Steuersignale zur Anpassung des Betriebsstromes I durch die Laserdiode.

Die Schwankungen des Betriebsstromes liegen dabei nur in einem begrenzten Bereich, so dass zum einen die Funktionalität des Halbleiterlasers stets gewährt ist und zum anderen nicht zu hohe Intensitäten entstehen.

In dem Ausführungsbeispiel der Figur 6 ist die Einstellvorrichtung durch eine Vorrichtung 73 verwirklicht, die mit der Lichtleitfaser 4 verbunden ist und ein leichtes Verschieben der Lichtleitfaser und damit auch des Faser-Bragg-Gitters 5 entlang der optischen Achse des optischen Resonators ermöglicht. Bei dieser Ausgestaltung erfolgt eine Änderung der effektiven optischen Weglänge des Resonators durch Änderung des geometrischen Abstandes zwischen den beiden Spiegelflächen des Resonators.

Das beschriebene Verfahren zur Wellenlängenstabilisierung wird iterativ während der Betriebszeit des Lasers angewendet, so dass die Laserlinie nur soweit von der Zentralwellenlänge λ_{BRAGG} des Bragg-Gitters abweichen kann, als es die jeweils verwendete Steuerung der Wellenlänge der Laserlinie erlaubt. Dadurch werden im Laufe der Betriebszeit insbesondere auf eine Alterung des Laserchips zurückgehende Schwankungen der Wellenlänge erfindungsgemäß wieder ausgeglichen. Zusätzlich werden sowohl eine Änderung der Umgebungstemperatur als auch eine Änderung der Betriebstemperatur ausgeglichen.

Ohne die beschriebene Wellenlängenstabilisierung wandert die spektrale Position der Wellenlänge (Laserlinie) bei sich ändernden Betriebsbedingungen solange, bis der vom Faser-Gitter genutzte Bereich verlassen wird (vgl. Fig. 7). An diesen Grenzen läuft der Laser nur begrenzt stabil. Entweder hört der Laser auf zu funktionieren oder er wechselt seine Laserlinie, d.h., es erfolgt ein Modensprung. Änderungen der Betriebsbedingungen sind neben einer Alterung insbesondere eine Änderung des Betriebsstromes und eine Änderung der Betriebstemperatur. Ein weiteres Beispiel für geänderte Betriebsbedingungen sind mechanische Spannungen, die an der Laserdiode anliegen.

In den Figuren 11 und 13 ist dargestellt, dass sich die ausgekoppelte Wellenlänge ohne eine Wellenlängenstabilisierung in Abhängigkeit von dem Betriebsstrom und der Temperatur des Halbleiterlasers ändert. Die in den Figuren 11 und 13 dargestellten Unstetigkeiten entsprechen Bereichen, an denen die ausgekoppelte Wellenlänge die spektrale Ausdehnung $\Delta\lambda$ des Faser-Bragg-Gitters verlässt und dementsprechend ein Modensprung erfolgt, wobei sich ein Laserbetrieb bei einer anderen Wellenlänge ausbildet.

Die Figuren 12 und 14 zeigen die ausgekoppelte Wellenlänge in Abhängigkeit von der Temperatur des Halbleiterlasers und dem

Betriebsstrom bei einer erfindungsgemäßen
Wellenlängenstabilisierung gemäß Figur 1. Die ausgekoppelte
Wellenlänge ist konstant. Es wird damit ein Kanal fester
Wellenlänge bereitgestellt, wie ihn die ITU-Empfehlungen für
5 WDM-, DWDM- und CWDM-Systeme vorschreiben.

Patentansprüche

1. Lasermodul für optische Übertragungssysteme mit

- einer Laserdiode (1) und
- 5 - einem optischen Resonator mit einer hochreflektierenden
Spiegelfläche (102) und einem in einen Lichtwellenleiter
(4) eingeschriebenen Bragg-Gitter (5),

g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

10

Mittel zum Stabilisieren einer Ausgangswellenlänge des
Lasermoduls, die aufweisen:

- eine Messvorrichtung (2, 21, 22) zur Messung der
Photonendichte innerhalb des Resonators,
- 15 - eine Einstellvorrichtung (7, 71, 72, 73) zur Einstellung
der effektiven optischen Weglänge des Resonators, und
- eine Steuervorrichtung (6), die auf der Grundlage eines
Vergleichs zwischen verschiedenen Werten der
Photonendichte bei verschiedenen effektiven optischen
20 Weglängen des Resonators Steuerbefehle an die
Einstellvorrichtung (7, 71, 72, 73) zur Einstellung der
effektiven optischen Weglänge des Resonators dahingehend
erzeugt, dass die emittierte Ausgangswellenlänge gleich
einer gewünschten Wellenlänge ist.

25

2. Lasermodul nach Anspruch 1, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass die Einstellvorrichtung Mittel
(73) zur Längsverschiebung des Lichtwellenleiters (4) mit dem
eingeschriebenen Bragg-Gitter (5) umfasst.

30

3. Lasermodul nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass die Einstellvorrichtung Mittel
(71) zum Heizen oder Kühlen der Laserdiode (1) umfasst.

35

4. Lasermodul nach mindestens einem der vorangehenden
Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass

die Einstellvorrichtung Mittel (72) zur Änderung des Betriebsstroms der Laserdiode (1) umfasst.

5 5. Lasermodule nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messvorrichtung eine Monitordiode (21) umfasst, die benachbart der hochreflektierenden Spiegelfläche (102) des optischen Resonators angeordnet ist und durch die Spiegelfläche (102) aus dem Resonator ausgekoppeltes Licht
10 detektiert.

6. Lasermodule nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Messvorrichtung Mittel (22) zur Erfassung der Spannung an der
15 Laserdiode (1) bei konstantem Laserbetriebsstrom aufweist.

7. Lasermodule nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (6) Teil einer Regelschleife ist, die die
20 Ausgangswellenlänge des Lasermoduls auf eine gewünschte Wellenlänge regelt, wobei die Photonendichte iterativ gemessen wird und die Steuervorrichtung (6) auf der Grundlage der Differenz zweier aufeinander folgender Messungen jeweils einen Steuerberfehl an die Einstellvorrichtung (7, 71, 72,
25 73) zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators abgibt.

8. Lasermodule nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die
30 Laserdiode einen Fabry-Perot-Halbleiterlaser (1) bildet, dessen eine Facette durch die hochreflektierende Spiegelfläche (102) des optischen Resonators gebildet ist.

9. Lasermodule nach Anspruch 8, dadurch
35 gekennzeichnet, dass der Fabry-Perot-Halbleiterlaser (1) eine mit einer antireflektierenden Schicht (103)

beschichtete vordere Facette aufweist, über die Licht zum Bragg-Gitter (5) ausgesandt bzw. von diesem empfangen wird.

10. Lasermodule nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (6) die Einstellvorrichtung (7) dahingehend steuert, dass die emittierte Ausgangswellenlänge nahe der Zentralwellenlänge (λ_{BRAGG}) des Bragg-Gitters (5), insbesondere gleich der Zentralwellenlänge (λ_{BRAGG}) des Bragg-Gitters (5) ist.

11. Laserdiode nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kopplung der Laserdiode (1) mit dem Bragg-Gitter (5) eine Koppeloptik (8), insbesondere eine Siliziumlinse, eine sphärische oder asphärische Linse oder eine Gradientenindexlinse aus geeignetem optischen Material vorgesehen ist.

12. Lasermodule nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Koppeloptik (8) antireflexbeschichtet und/oder leicht angeschrägt ist

13. Lasermodule nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Lichtwellenleiter eine Single-Mode-Glasfaser (4) ist.

14. Lasermodule nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Ende der Glasfaser (4) antireflexbeschichtet und/oder leicht angeschrägt ist.

15. Lasermodule nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bragg-Gitter (5) sich in unmittelbarer Nähe der Laserdiode (1) befindet.

16. Lasermodule nach mindestens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (6) einen Steuerbefehl an die Einstellvorrichtung (7) dahingehend abgibt, dass sich die effektive optische Weglänge des Resonators um einen vorgegebenen festen Betrag ändert.

17. Lasermodule nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuervorrichtung (6) aufgrund einer internen Berechnung einen Steuerbefehl an die Einstellvorrichtung (7) dahingehend abgibt, dass sich die effektive optische Weglänge des Resonators um einen Betrag ändert, der von dem durchgeführten Vergleich zwischen verschiedenen Werten der Photonendichte bei verschiedenen optischen Weglängen des Resonators abhängt.

18. Verfahren zum Stabilisieren einer Ausgangswellenlänge eines Lasermoduls für optische Übertragungssysteme, wobei das Lasermodule aufweist:

- eine Laserdiode (1) und
- einen optischen Resonator mit einer hochreflektierenden Spiegelfläche (102) und einem in einen Lichtwellenleiter (4) eingeschriebenen Bragg-Gitter (5),

gekennzeichnet durch

die Schritte:

- a) Messen der Photonendichte innerhalb des Resonators bei einer ersten effektiven optischen Weglänge des Resonators,
- b) Ändern der effektiven optischen Weglänge des Resonators,
- c) Messen der Photonendichte innerhalb des Resonators bei einer zweiten effektiven optischen Weglänge des Resonators,
- d) Vergleichen der gemessenen Photonendichten,
- e) Einstellen der effektiven optischen Weglänge des Resonators auf der Grundlage des erfolgten Vergleichs,

wobei in Abhängigkeit von dem erfolgten Vergleich die effektive optische Weglänge des Resonators entweder verlängert oder verkürzt wird,

5 f) Wiederholen der Schritte a) bis d), bis die emittierte Ausgangswellenlänge gleich einer gewünschten Wellenlänge ist.

10 19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Verfahrensschritte a) bis e) über die Lebenszeit des Lasermoduls zur Kalibrierung der Laserwellenlänge regelmäßig wiederholt werden.

15 20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Schritte a) bis d) wiederholt werden, bis die emittierte Ausgangswellenlänge gleich der Zentralwellenlänge (λ_{BRAGG}) des Bragg-Gitters ist.

20 21. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Photonendichte mittels einer Monitordiode (21) oder über die an der Laserdiode abfallende Spannung (22) bei konstantem Laserbetriebsstrom gemessen wird.

25 22. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die effektive optische Weglänge des Resonators durch externes Heizen oder Kühlen der Laserdiode (1), Ändern des Betriebsstroms der Laserdiode (1) und/oder ein Verschieben des Lichtwellenleiters (4) entlang seiner optischen Achse
30 eingestellt wird.

35 23. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 18 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt d) ein Vergleich der gemessenen Photonendichten durch Differenzenbildung erfolgt.

24. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 18 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt e) die effektive optische Weglänge des Resonators stets um einen vorgegebenen Wert verlängert oder verkürzt wird.

5

25. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 18 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt e) ein Verlängern oder Verkürzen der optischen Weglänge des Resonators um einen Betrag erfolgt, der von dem Ergebnis des Vergleichs der gemessenen Photonendichten in Schritt d) abhängt.

10

26. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 18 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass das Licht im Resonator zwischen der Laserdiode (1) und dem Bragg-Gitter (5) über eine Koppeloptik (8) übertragen wird.

15

Zusammenfassung

Bezeichnung der Erfindung: Lasermodul für optische Übertragungssysteme und Verfahren zum Stabilisieren einer Ausgangswellenlänge eines Lasermoduls.

Die Erfindung betrifft ein Lasermodul für optische Übertragungssysteme mit einer Laserdiode (1) und einem optischen Resonator mit einer hochreflektierenden Spiegelfläche und mindestens einem in einen Lichtwellenleiter (4) eingeschriebenen Bragg-Gitter (5) sowie ein Verfahren zum Stabilisieren einer Ausgangswellenlänge eines Lasermoduls. Erfindungsmäßig sind Mittel zum Stabilisieren einer Ausgangswellenlänge des Lasermoduls vorgesehen, die aufweisen:

- eine Messvorrichtung (2, 21, 22) zur Messung der Photonendichte innerhalb des Resonators,
- eine Einstellvorrichtung (7, 71, 72, 73) zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators, und
- eine Steuervorrichtung (6), die auf der Grundlage eines Vergleichs zwischen verschiedenen Werten der Photonendichte bei verschiedenen effektiven optischen Weglängen des Resonators Steuerbefehle an die Einstellvorrichtung (7, 71, 72, 73) zur Einstellung der effektiven optischen Weglänge des Resonators dahingehend erzeugt, dass die emittierte Ausgangswellenlänge gleich einer gewünschten Wellenlänge ist.

Die Erfindung ermöglicht, die Wellenlänge eines Halbleiterlasers unabhängig von Alter und Umgebungstemperatur mit hoher Genauigkeit auf eine gewünschte Wellenlänge einzustellen. (Fig. 1)

Fig. 1

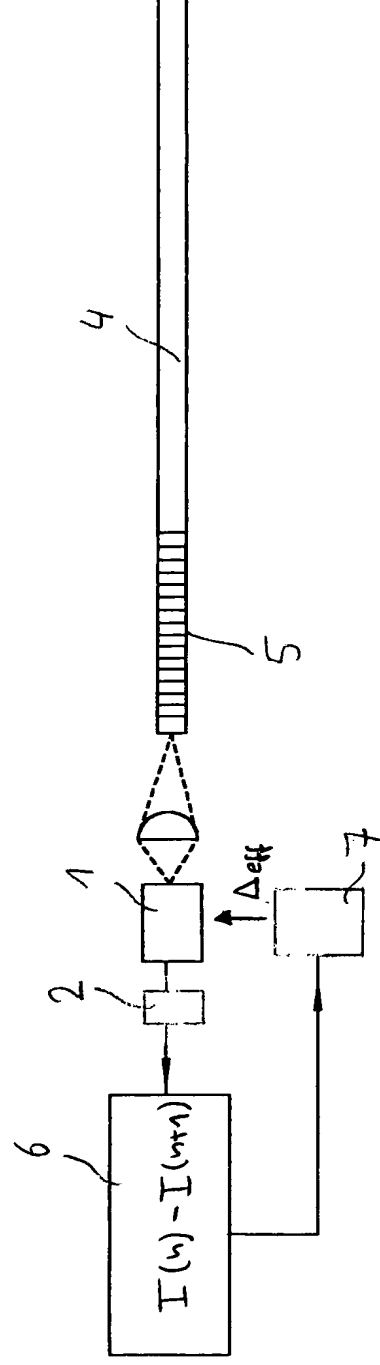


Fig. 2

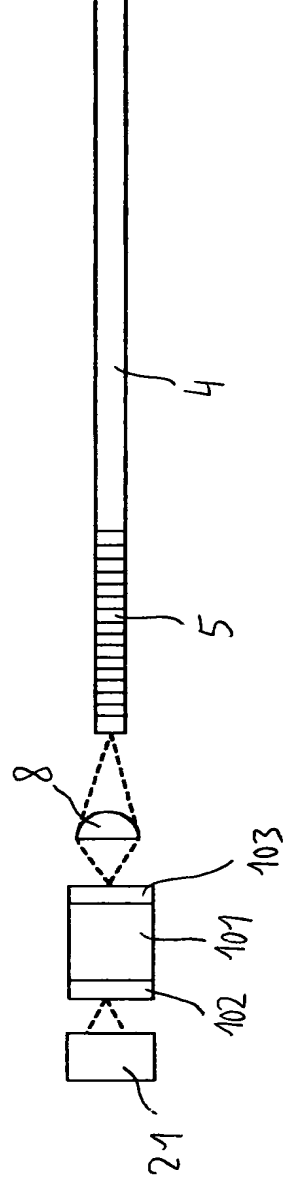


Fig. 3

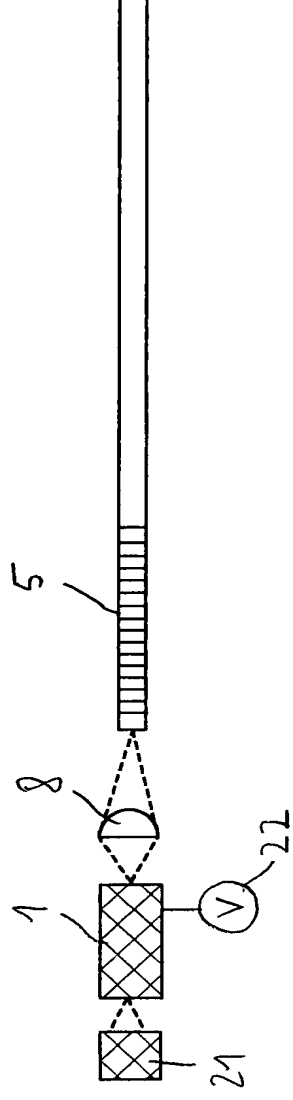


Fig. 4

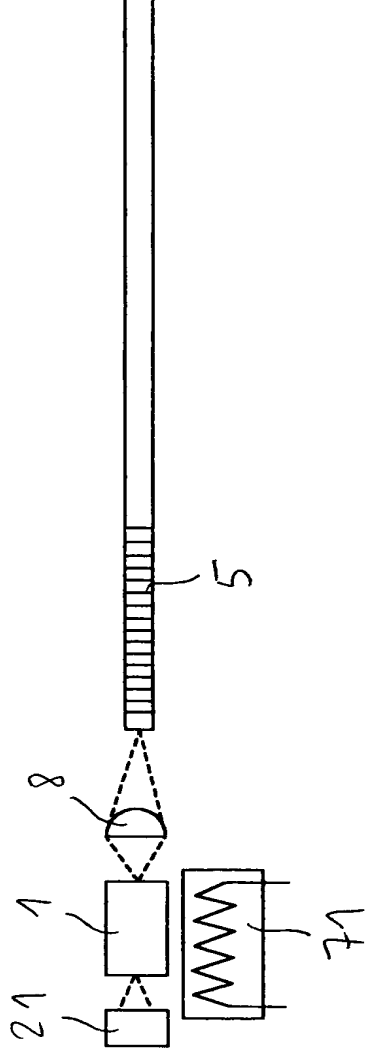




Fig. 5

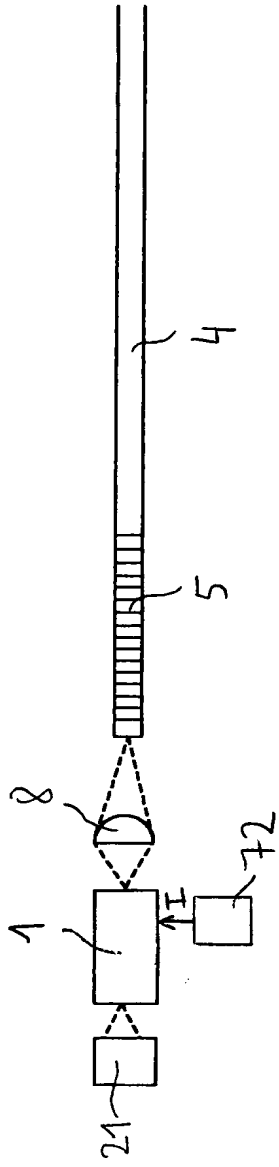


Fig. 6

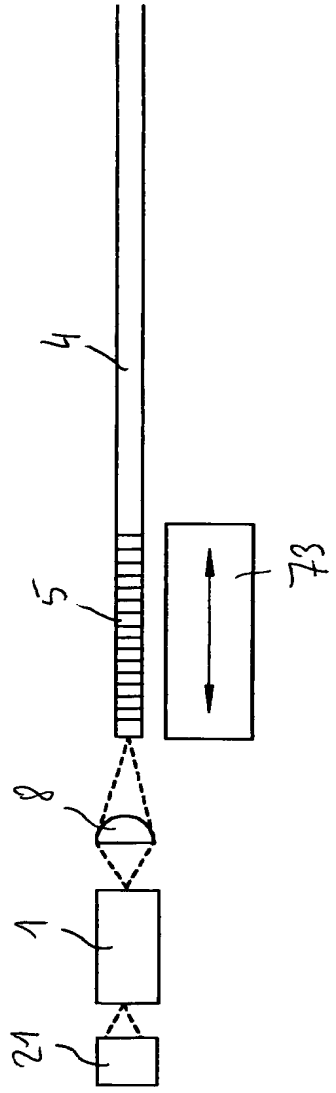


Fig. 7

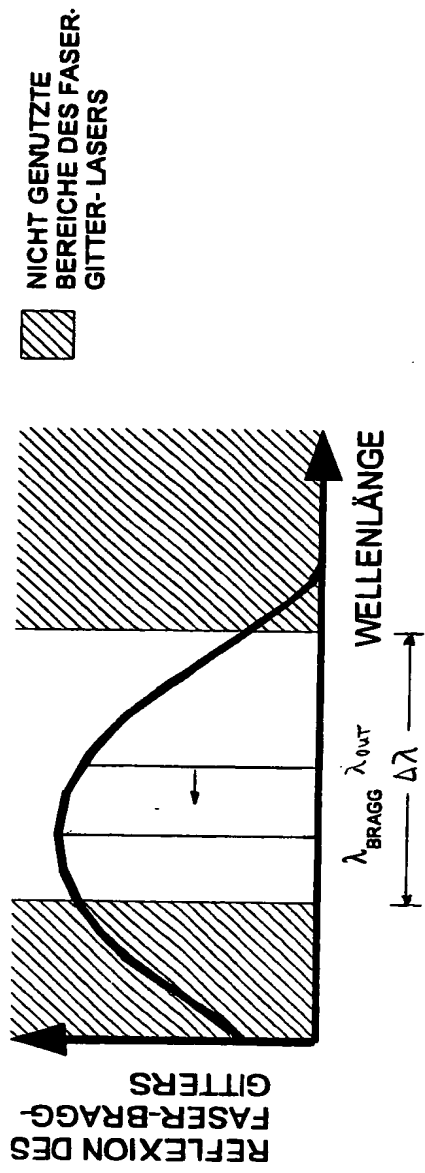


Fig. 8

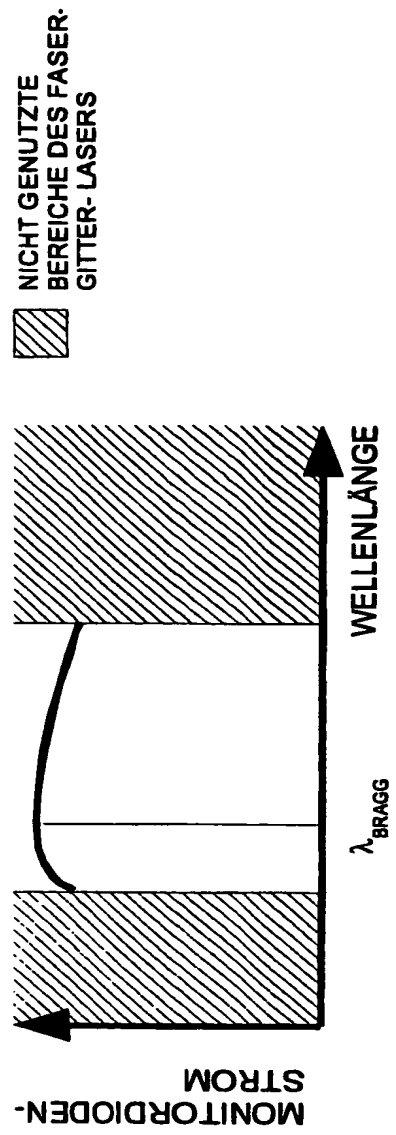


Fig. 9

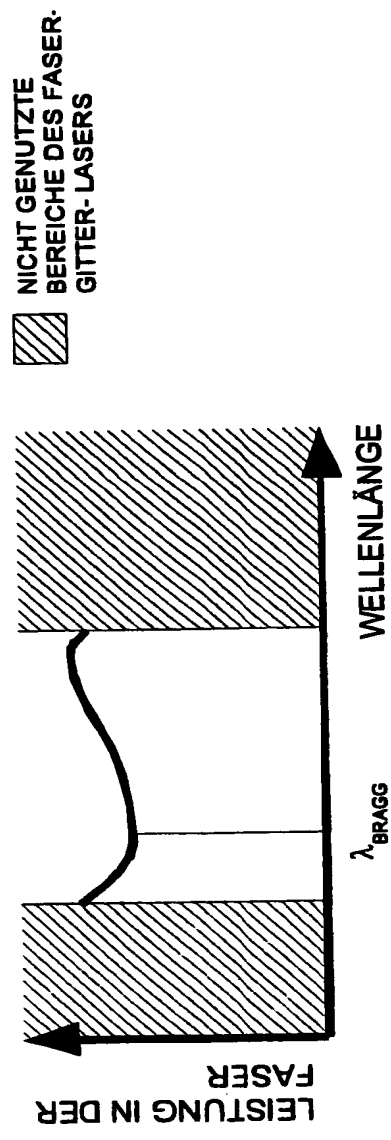


Fig. 10

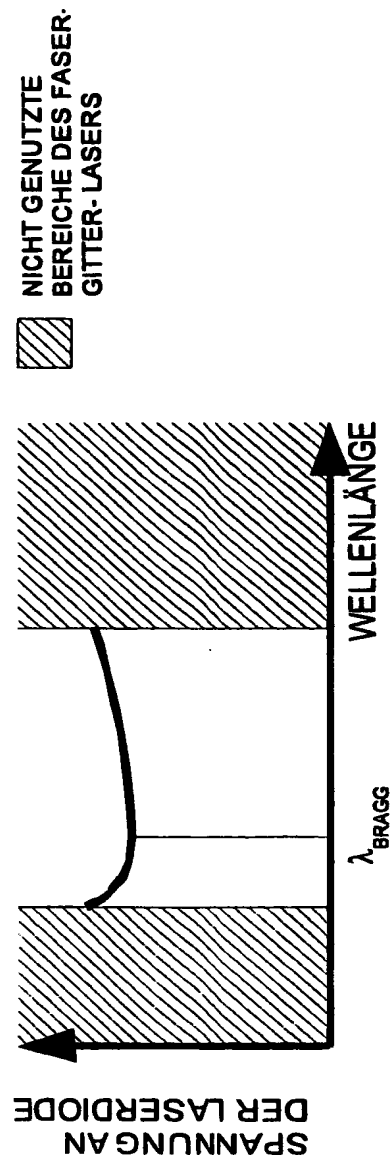


Fig. 11

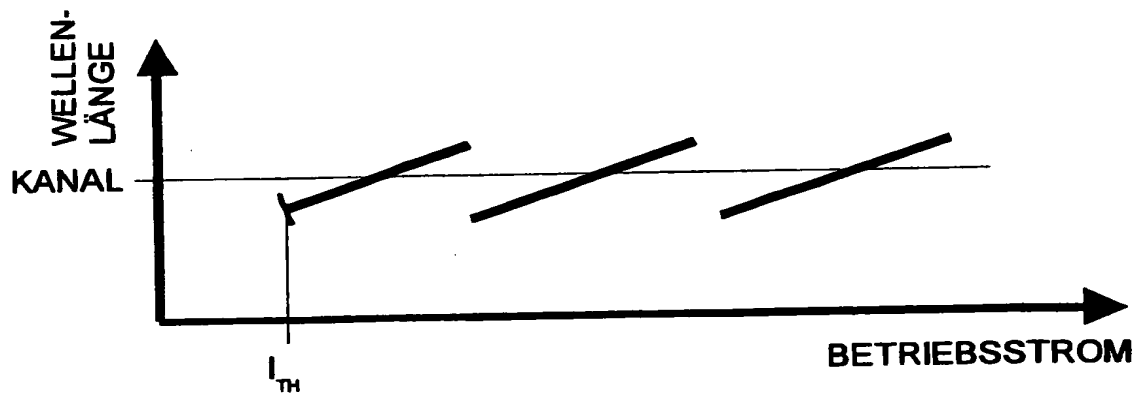


Fig. 12

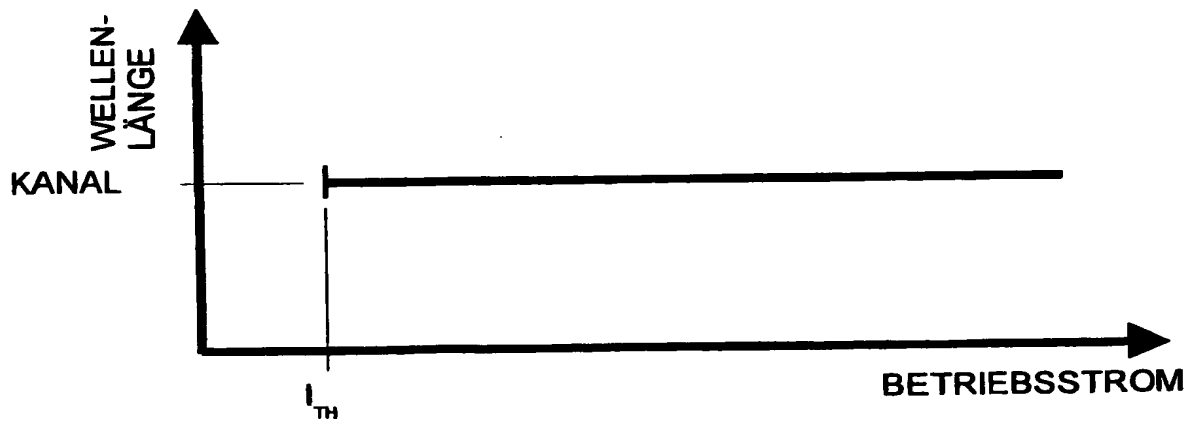


Fig. 13

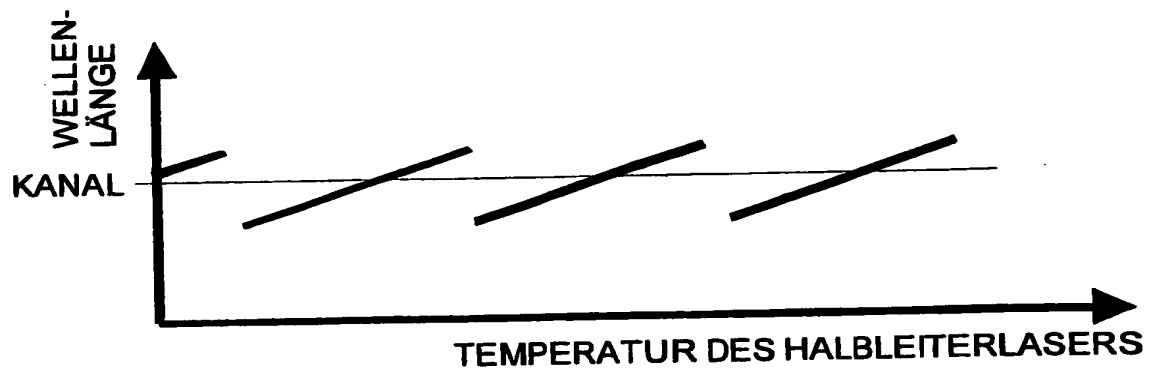


Fig. 14

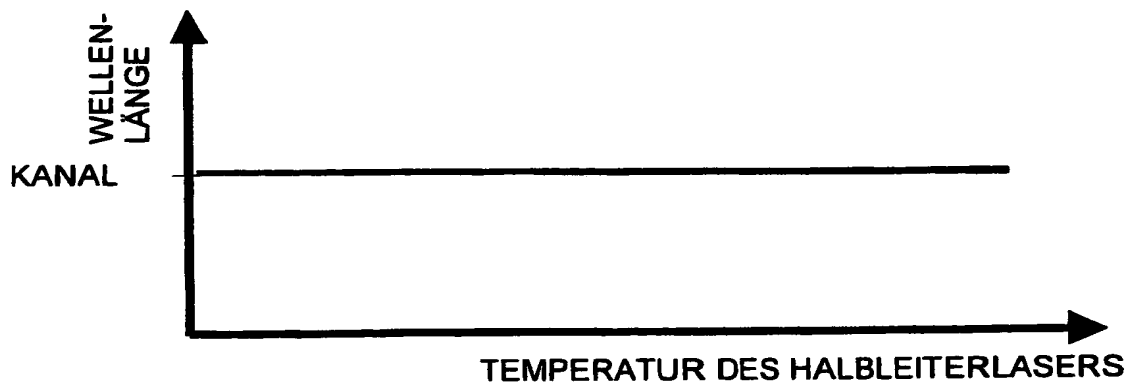


Fig. 1

